



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 12 396 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**F 01 D 5/14**  
F 04 D 29/38

⑳ Aktenzeichen: 196 12 396.8  
㉔ Anmeldetag: 28. 3. 96  
㉕ Offenlegungstag: 18. 10. 97

DE 196 12 396 A 1

㉑ Anmelder:  
Technische Universität Dresden, 01069 Dresden, DE

㉒ Vertreter:  
Baum, W., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 81243 München

㉓ Erfinder:  
Niehüs, Reinhard, Dr., 85221 Dachau, DE;  
Broichhausen, Klaus, Prof. Dr., 82194 Gröbenzell, DE;  
Sauer, Helmut, Dr., 01259 Dresden, DE; Seidel,  
Günter, 01069 Dresden, DE; Heinz, Wolf, Prof., 01109  
Dresden, DE

㉔ Entgegenhaltungen:

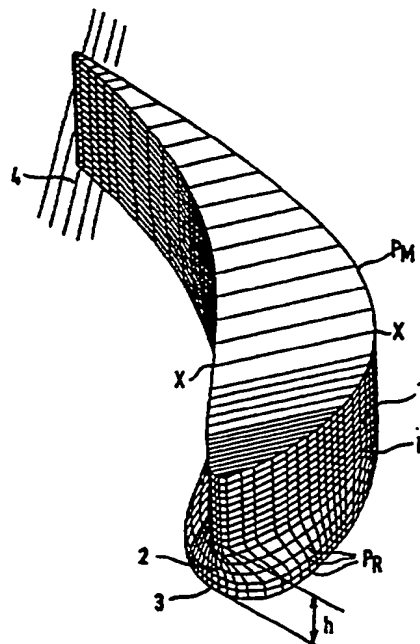
DE 28 41 616 B2  
- GB 20 04 599 A  
EP 07 04 602 A2  
JP 55-1 42 909 A

DE-Schrift Weiß, Andreas P.: Der Einfluß der  
Profilgeometrie auf die Entwicklung der  
Sekundärströmungen in Turbinengittern,  
Dissertation 1993, Universität der Bundeswehr  
München, S. 80-81;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉕ Schaufelblatt mit unterschiedlich ausgebildeten Profilquerschnitten

㉖ Die Erfindung betrifft ein Schaufelprofil  $P_R$  zur Verminderung von Sekundärströmungsverlusten in einem beschauften Strömungskanal einer Strömungsmaschine oder Strömungsführung. Das Schaufelprofil  $P_R$  ist dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich der Vorderkante 3 das Schaufelprofils eine strömungstechnisch gestaltete Wulst 2 vorgesehen ist, die das Grundprofil an wenigstens einer Seitenwand 4 um den variablen Abstand (a) überragt und mit der Seitenwand 4 etwa flächig abschließt, wobei sich die Wulst 2 in Schaufellängsrichtung über die Höhe (h) erstreckt und der Abstand (a) nach einer Funktion im Bereich der Höhe (h) zu null wird. Durch das veränderte Schaufelprofil werden die Sekundärverluste bei axialen und geraden Schaufelgittern von Turbomaschinen und Strömungsführungen gesenkt.



Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Die Erfindung betrifft ein Schaufelblatt für Schaufelgitter von Strömungsmaschinen nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

In axialen und geraden Schaufelgittern entstehen bekanntermaßen Sekundärströmungen und Sekundärverluste. An den seitlichen Begrenzungswänden des Durchströmteiles bildet sich in der Zuströmung zu den Gittern eine Wandgrenzschicht aus, die im Schaufelkanal umgelenkt wird. Das energieärmere Fluid in der Vorgrenzschicht kann jedoch dem von der Profilsaugseite zur Profildruckseite einer benachbarten Schaufel sich aufbauenden Druckfeld, das im wesentlichen durch die Strömung außerhalb der Randzonen bestimmt wird, nicht das Gleichgewicht halten. Als Folge tritt mit der Ausbildung stärker gekrümmter Strombahnen eine Querströmung von der Druckseite zur Saugseite der Nachbarschaufel auf, die sich in einem Wirbel im Schaufelkanal fortsetzt.

Der Transport des energiearmen Materials der Vorgrenzschicht und die Überlagerung mit der saugseitigen Profilgrenzschicht ruft zusätzliche Verluste, die sogenannten Randverluste hervor. Für die Höhe der Verluste ist die Intensität des Überströmens entscheidend.

Auf die Querbewegung sind zusätzliche Einflüsse weiterer Wirbelsysteme vorhanden. Im räumlichen Staubereich vor der Schaufelvorderkante an der Seitenwand steigt der örtliche Druck in Strömungsrichtung stark an. Dadurch weichen die wandnahen Schichten des Fluids in der Anströmungsgrenzschicht in Zonen geringeren Druckes quer zur Hauptströmung aus. In der Symmetrieebene des räumlichen Staugebietes kommt es zu einer Rückströmung. Aufgrund der Wechselwirkung mit der Außenströmung entsteht ein Wirbelgebilde, das hufeisenförmig um das Profil verläuft. Der Hufeisenwirbel besteht somit aus einem saugseitigen und einem druckseitigen Ast. Der saugseitige Wirbelarm verläuft entlang der Profilsaugseite, hat einen gegenläufigen Drehsinn gegenüber dem Kanalwirbel und behindert die Bewegung des Kanalwirbels zur Saugseite. Der druckseitige Ast des Hufeisenwirbels hat innerhalb des Schaufelkanals einen gleichläufigen Drehsinn wie der Kanalwirbel. Es entsteht ein komplexes Wirbelsystem, wobei die einzelnen Wirbel in starker Wechselwirkung miteinander stehen.

In der Dissertationsschrift "Weiß, Andreas P. Der Einfluß der Profilgeometrie auf die Entwicklung der Sekundärströmungen in Turbinengittern, Dissertation 1993, Universität der Bundeswehr München, S. 80—81" wird die Beeinflussbarkeit der Sekundärströmung durch Variation der Profilgeometrie untersucht, um die Gitterverluste zu minimieren.

Hiervon ausgehend, ist es Aufgabe der Erfindung, ein gattungsgemäßes Schaufelblatt anzugeben, dessen Schaufelgeometrie die Sekundärströmung im Sinne einer Minimierung der Schaufelverluste beeinflusst.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe durch die Merkmale des kennzeichnenden Teiles des Patentanspruchs 1 gelöst.

Die Erfindung hat den Vorteil, daß durch die wulstartige, aerodynamische gestaltete Aufdickung des Schaufelblattes im saug- und druckseitigen Bereich der Vorderkante das Wirbelsystem in den Randzonen günstig beeinflusst wird. Somit unterscheiden sich die randnahen Profilschnitte durch die erfindungsgemäße Aufdickung gegenüber einem Referenz-Profilschnitt. In der Folge wird die Intensität der Sekundärwirbel (Hufeisen-/Ka-

nalwirbel) und deren räumliche Lage geändert, was bei axialen und geraden Schaufelgittern von Turbomaschinen zu einer Reduzierung der Schaufelgitterverluste führt.

Der Referenz-Profilschnitt  $P_M$  ist als Grundprofil zu bezeichnen. Bei einfachen Blattgeometrien, z. B. gerade Turbinengitter ist als Referenz-Profilschnitt ein Profilschnitt  $P_M$  zu verstehen, welcher bei etwa 50% der gesamten Schaufelblatthöhe  $h_{ges}$  zu finden ist und keine Aufdickung aufweist.

Schaufelblätter in axialen Strömungsmaschinen weisen dagegen komplexere Schaufelgeometrien auf, da die einzelnen Profilschnitte  $P$ , die die Schaufelblätter definieren, an die lokal herrschenden Strömungszustände angepaßt sind. Aufgrund der radial veränderlichen Strömungswinkel und -zustände besteht das Schaufelblatt in der Regel aus einer Vielzahl von Einzelprofilschnitten, die diesen Verhältnissen angepaßt sind und sich entlang der Schaufelhöhe und insbesondere in ihrer Ausrichtung und Lage ändern. Aerodynamische, mechanische und thermische Belastungen führen u. a. auch zu einer Änderung der Profildicke über die Schaufelblatthöhe. So erfordert die Gasdrucklast bei radial außen am Gehäuse angebrachten Leitschaufeln eine zunehmende Profildicke in Schaufelhöhenrichtung um der Biegebeanspruchung zu widerstehen. Dagegen weisen Laufschaufeln im Nabebereich die größte Profildicke auf, um der Fliehkraftbeanspruchung standhalten zu können. Die erfindungsgemäße Aufdickung an den Randzonen ist daher als additive Aufdickung eines Grundprofils zu verstehen, die den zuvor genannten Dickenänderungen des Schaufelblattes überlagert ist.

Weitere vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung ergeben sich aus den Merkmalen der Patentansprüche 2 bis 8.

Eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügte Zeichnung erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine perspektivische Ansicht eines erfindungsgemäßen Schaufelprofils mit einer Aufdickung im Bereich der Vorderkante,

Fig. 2 einen Profilschnitt im Bereich der Aufdickung und

Fig. 3 ein Diagramm mit dem qualitativen Verlauf der Aufdickung über die Schaufelblatthöhe  $h$ .

In Fig. 1 ist ein erfindungsgemäßes Schaufelblatt 1 mit einer Aufdickung 2 im Bereich der Vorderkante 3 des Schaufelblattes 1 dargestellt. Das Schaufelblatt 1 ist Bestandteil eines nicht weiter dargestellten Schaufelgitters einer Strömungsmaschine. An den beiden Rand-schnitten geht das Schaufelblatt 1 jeweils flächig in die Seitenwände 4 des Schaufelgitters über. Die Aufdickung 2 steht um den variablen Abstand  $a$  über einen Referenz-Profilschnitt  $P_M$  über, wie aus Fig. 2 deutlich wird. Bei dem vorliegend als Beispiel gewählten geraden Schaufelblatt 1 ist als Referenz-Profilschnitt  $P_M$  ein mittlerer Profilschnitt gewählt worden, welcher außerhalb des Randbereiches liegt.

Der Übergang von den aufgedickten, randnahen Bereichen in den nicht aufgedickten Profilbereich ist strömungsmechanisch günstig gestaltet. In Schaufellängsrichtung betrachtet, weist die Aufdickung 2 ein zylindrisches Teilstück  $T_z$  auf, in dem die Abstände  $a$  bis zu einer Schaufelblatthöhe  $h_1$  konstant sind. Davon unabhängig ist die Variation des Abstandes  $a$  über die Profiltiefe. Nach diesem Teilstück  $T_z$  folgt ein zweites Teilstück  $T_Q$ , womit der Übergang in den nicht aufgedickten mittleren Blattbereich in Schaufellängsrichtung gestaltet

tet wird. Gemäß der Fig. 3 ist dieser Übergang nach einer Cosinusfunktion gestaltet.

In Fig. 2 wird ein Schnitt  $P_R$  durch den aufgedickten, randnahen Bereich des Schaufelblattes 1 gezeigt. Die Aufdickung 2 verläuft um die Vorderkante 3 herum und überragt den vorderen Teil des Referenz-Profilschnitts  $P_M$  um den lokal variablen Abstand  $a$ . Hierdurch ergibt sich eine Verlängerung der Schaufelblatttiefe  $t$  um den Abstand  $a$  im Nasenbereich gegenüber dem Referenz-Profilschnitt  $P_M$ . Die Aufdickung 2 ist nach aerodynamischen Gesichtspunkten gestaltet und ist in den stromabwärtigen Bereich des Profilschnittes  $P_R$  eingestragt. Die Aufdickung erfolgt im vorderen Profilbereich und erstreckt sich bis zum Ort X der größten Profildicke entsprechend der Dickenrücklage.

Die Größe des Abstandes  $a$  und der Verlauf um die Vorderkante des Grundprofils ist abhängig von der Grundprofilform im Referenz-Profilschnitt  $P_M$  und der Ausbildung des Strömungskanales.

In Fig. 3 werden die die Aufdickung 2 nachbildenden Funktionskurven gezeigt. Durch die Funktion ist der Verlauf der Aufdickung 2 in Schaufellängsrichtung dargestellt. Entsprechend dem Schnitt in Schaufellängsrichtung entstehen Funktionsverläufe, die sich um den Abstand  $a$  unterscheiden. Gemäß dem Ausführungsbeispiel ist der Abstand  $a$  über die Höhe  $h_1$  konstant. Der Übergang zum Grundprofil wird durch das Teilstück  $h_2$  gebildet und ist im Ausführungsbeispiel eine Cosinusfunktion. In der Höhe  $h = h_1 + h_2$  wird der Abstand  $a = 0$ . Die Höhe  $h$ , bis zu der das Schaufelblatt 1 aufgedickt ist, beträgt 8% der gesamten Schaufelblatthöhe.

#### Patentansprüche

1. Schaufelblatt für Schaufelgitter von Strömungsmaschinen, deren Profilschnitte (P) über die Schaufelblatthöhe (h) unterschiedlich ausgebildet sind, dadurch gekennzeichnet, daß die randnahen Profilschnitte ( $P_R$ ) an zumindest einer begrenzenden Seitenwand (4) des Schaufelgitters um die Vorderkante (3) des Schaufelblattes (1) eine strömungsmechanisch gestaltete Aufdickung (2) aufweisen, die die Kontur eines Referenz-Profilschnitts ( $P_M$ ) um den variablen Abstand (a) überragen.
2. Schaufelblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufdickung mit zunehmender Schaufelblatthöhe (h) nach einer Übergangsfunktion abnimmt.
3. Schaufelblatt nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Aufdickung bis zu einer Schaufelblatthöhe ( $h_1$ ) als zylindrisches oder konisch verlaufendes Teilstück ( $T_z$ ) ausgebildet ist, deren Abstand (a) von der Schaufelblatthöhe ( $h_1$ ) unabhängig ist und die Aufdickung (2) im Anschluß an das Teilstücke ( $T_z$ ) mit abnehmenden Abstand (a) nach einer Übergangsfunktion ( $T_0$ ) ausgeführt ist.
4. Schaufelblatt nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Übergangsfunktion ( $T_0$ ) durch eine Cosinusfunktion gebildet wird.
5. Schaufelblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Höhe (h) mit Aufdickung (2) eine Funktion von der Dicke der Vorgrenzschicht an der Seitenwand (4) ist.
6. Schaufelblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand (a) spätestens am Ort (X) der Schaufelblatttiefe (t) mit der maximalen Profildicke zu Null wird.
7. Schaufelblatt nach einem der vorhergehenden

Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Aufdickung (2) maximal bis zu einer Höhe (h) von der Seitenwand (2) erstreckt, die 20% der gesamten Schaufelblatthöhe entspricht.

8. Schaufelblatt nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand (a) maximal 10% der Sehnenlänge des Profilschnittes ( $P_R$ ) beträgt.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

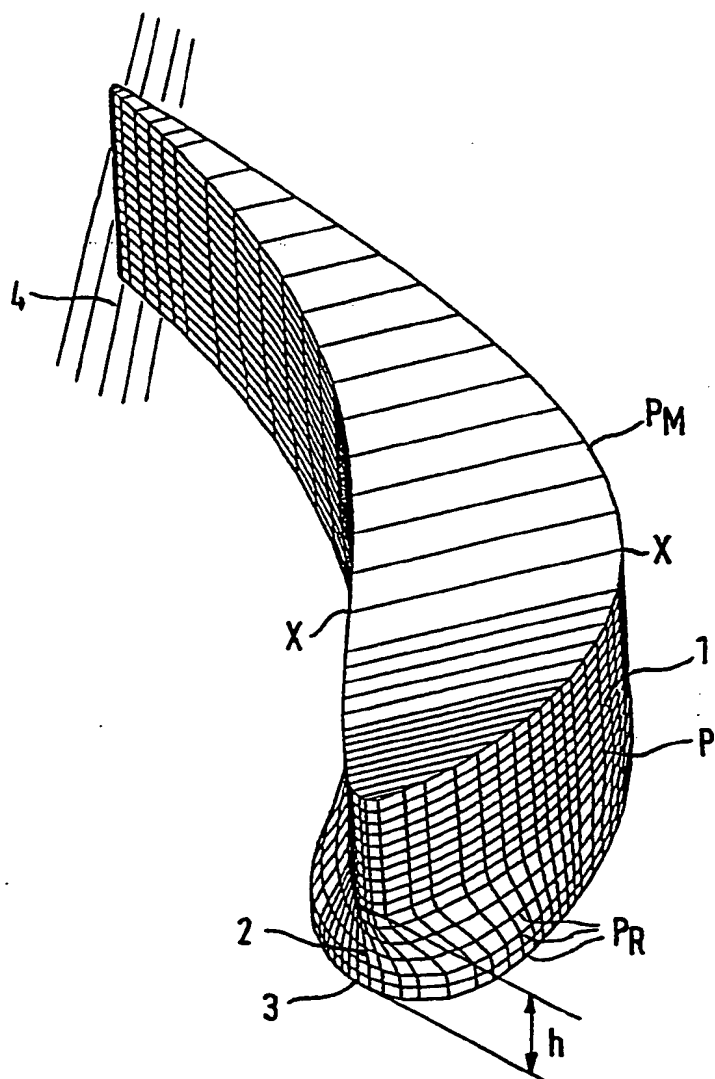


FIG. 1

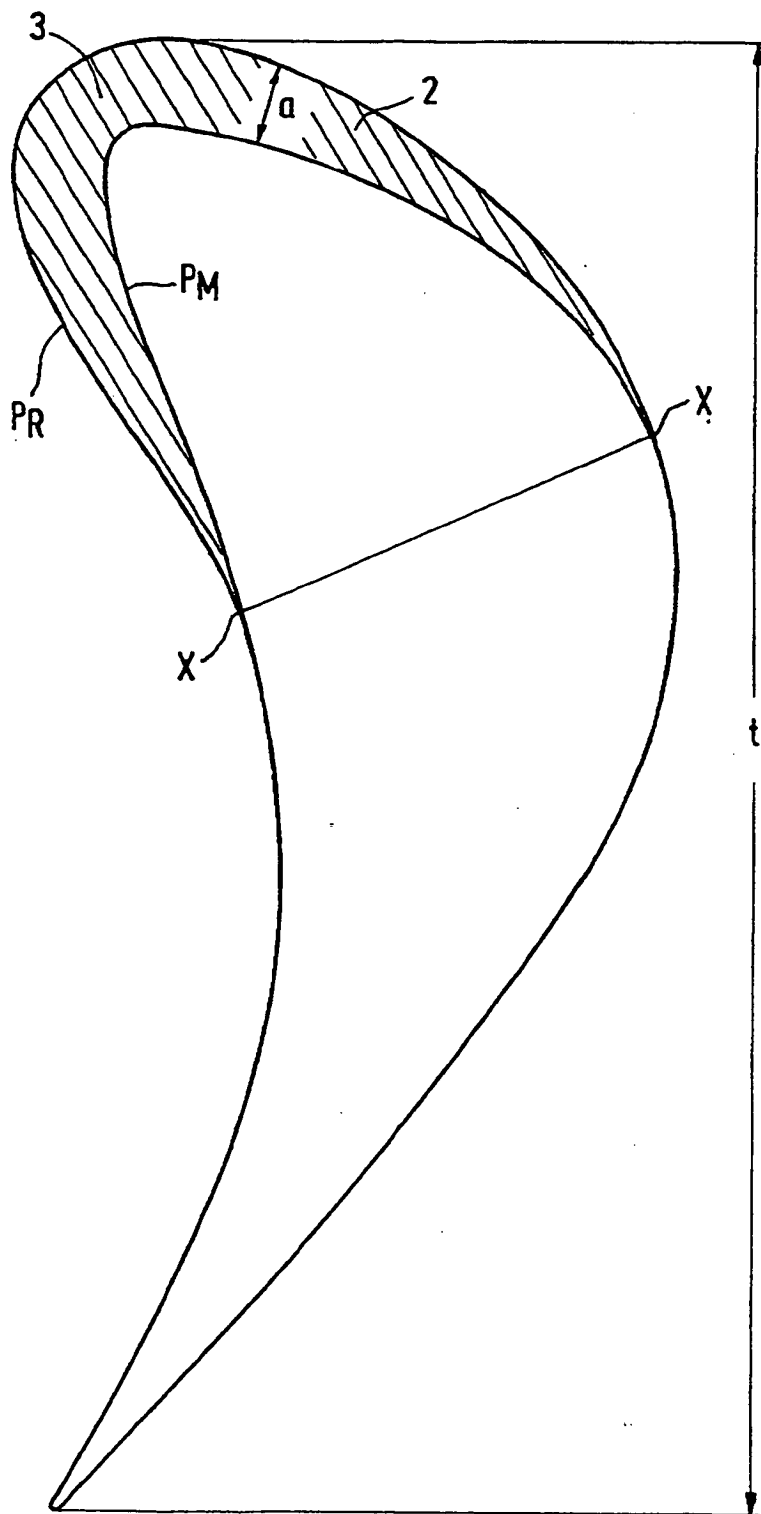


FIG. 2

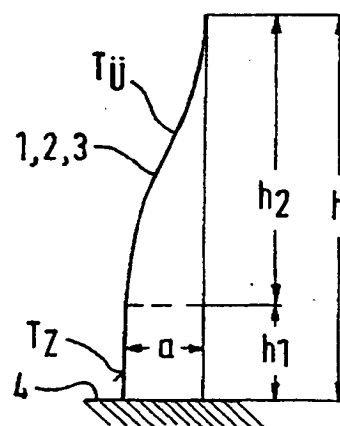


FIG. 3